
ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

Formacion de pantanos por medio de muros de presa para el mejor aprovechamiento de las aguas para los regadíos

Los señores miembros del Directorio de la Sociedad Nacional de Agricultura que se sirvieron honrarnos con su presencia cuando el Instituto trató el tema del mejor aprovechamiento de las aguas de regadío, fijado en su tabla para las sesiones generales de Septiembre del año próximo pasado, nos indicaron como un punto digno de estudio, por cuanto sus aplicaciones pueden ser numerosas en Chile, y es por decirlo así, la única manera de evitar las sequías en muchas regiones de nuestro territorio *la formación de pantanos por medio de muros de presas*. Estos pantanos, sirviendo de acumuladores de las aguas de las vertientes que corren en abundancia en el invierno, ó de las aguas de lluvia que se escurren sin provecho alguno por las quebradas, servirían de verdaderos estanques distribuidores, en épocas oportunas y en las cantidades que sean estrictamente necesarias, del elemento fertilizante por excelencia en toda la zona que pueda ser servida por sus aguas.

Corresponder, en parte, á los deseos de los señores directores de la Sociedad Nacional de Agricultura es el objeto del presente estudio. El tema puede ser considerado bajo varios aspectos, la falta de tiempo no me permitirá abordarlo sino en sus consideraciones generales, rogando á mis colegas del Instituto que, en vista de la importancia del asunto, se sirvan enmendarlo ó completarlo.

El esfuerzo individual aislado rara vez ha conseguido llevar á cabo grandes empresas de regadío: se ha visto y se ven actualmente ejemplos aislados y muy dignos de todo aplauso como la construcción del canal y la perforación del túnel de Mayarauco seguida con tezon y con éxito por el señor Patricio Larraín, para no citar sino de los ejemplos más recientes del empuje de la iniciativa privada. Pero estos casos son raros, por la naturaleza misma de los trabajos y por los sacrificios que imponen á sus ejecutantes. Es al *esfuerzo colectivo* al que se ha *debido y ha dirigido la realización de los grandes proyectos de regadíos en todos los países y en todo tiempo*: es pues de esta acción colectiva, por lo tanto de donde debemos también nosotros esperar las mejores soluciones y aplicaciones de los muros de presas para la formación de pantanos para la acumulación de las aguas necesarias para nuestros regadíos.

Hay casos en que los gobiernos tienen verdadero interés en el fomento de estas empresas, por cuanto ellas contribuirán eficazmente al aumento de la riqueza nacional, ó servirán para normalizar y regularizar ciertos servicios de uso público, como ser los de aguas potables para las ciudades, etc., etc., pero, como en todo caso *los más directamente interesados son los particulares* por el aumento notable en el valor de la propiedad, es lógico que ellos sean *los mayores contribuyentes y aun los únicos en ciertos casos*.

Así, por ejemplo, para precisar ideas. Los vecinos del valle de Huasco han pedido la cooperación del Supremo Gobierno para la construcción de tranques ó muros de presas que aumenten el caudal de las aguas del Huasco, y el que suscribe decía al señor Ministro de Industria y Obras Públicas en la Memoria de la Dirección General correspondiente á los trabajos del año próximo pasado lo siguiente: «Desde el mes de Abril próximo pasado, con motivo de una solicitud de algunos interesados, se ha ocupado la Dirección, con el auxilio de la Sección de Hi-

dráulica, de la posibilidad de aumentar las aguas de las lagunas del Huasco, y por consiguiente, de mejorar los regadíos de ese rico valle con la construcción de tranques artificiales que permitan almacenar las aguas de lluvias y vaciarlas al río en proporción con las necesidades de la agricultura.»

«El trabajo material de los tranques, como US. comprenderá, es cuestión de más ó menos desembolso y de un estudio prolijo de la localidad que permita ejecutar planos y presupuestos detallados de esas obras. No es allí donde se podrán encontrar dificultades para realizar un problema de esta naturaleza; es en la repartición de las aguas almacenadas en conformidad con los derechos adquiridos por cada propietario, y por consiguiente, en el monto de la cuota con que debe contribuir cada cual, tanto para la construcción de las obras, cuanto para su conservación, es donde estriba el verdadero tropiezo de estas obras, como tuve ocasión de manifestarlo á US. en mi informe del 19 de Abril próximo pasado.»

«La comisión de ingenieros encargada de hacer los estudios locales de las lagunas, cumplió con su cometido á fines del año próximo pasado, y actualmente se ocupa de hacer los planos y demás estudios del caso, los cuales estarán terminados en poco tiempo más. Creo, pues, de verdadera utilidad avanzar algunas ideas, ó más bien dicho, formular algunas indicaciones tendentes á la manera cómo esta oficina estima que podrían ejecutarse estos trabajos que beneficiarán á la agricultura del rico valle de Huasco.»

«Los propietarios del valle han construído sus canales de regadío y se distribuyen actualmente las aguas en virtud de un empadronamiento que tiene por base la existencia de terrenos que ellos pueden regar con dichos canales. Cuando vienen las sequías, se distribuyen en turnos las dotaciones, en vista de la superficie regable de cada fundo. Posteriormente, otros propietarios construyeron también sus canales y entraron á repartirse

las aguas en proporción con sus superficies regable; pero entonces los antiguos poseedores de canales reclamaron, y vino una disposición legal, cuya fecha no he podido encontrar, que estipuló que los nuevos canalistas no tenían derecho *a turnos* sino cuando los anteriores tuvieran sobrantes. Tal es, señor Ministro, el estado actual de las cosas.»

«Como con la construcción de los tranques aumentará naturalmente la dotación de las aguas, todos los actuales canalistas van á poder ensanchar sus zonas de regadíos y habrá, tal vez, ocasión para que terceros puedan abrir otros canales en las condiciones que estipulan las ordenanzas vigentes, es decir, para regar cuando sobre á los anteriores, porque se hace posible la existencia de sobrantes de aguas. Siendo así, como cada propietario verá aumentar el valor de sus fundos en tanto en cuanto pueda aumentar sus actuales regadíos, lógico es que contribuya cada cual con una cuota proporcional para la construcción de dichos tranques.»

«Supongamos, por ejemplo, que la construcción de dichos tranques exijan un desembolso de 150,000 pesos. Como el aumento de la riqueza del valle es aumento de la riqueza nacional, creo que el Fisco podrá contribuir con la tercera parte del costo, es decir, con 50,000 pesos, quedando 100,000 para que sean cubiertos proporcionalmente entre los vecinos interesados, según los beneficios que las obras les reporten. Como sería muy engañoso apreciar esos beneficios, podrían distribuirse los costos del vecindario que quiere gozar de este beneficio en proporciones con la contribución territorial que cada uno paga. De esta manera, el gravamen para cada cual sería poco sensible y proporcionado á su haber. Para los que pidieran merced de aguas más tarde, se les gravaría naturalmente con una cuota correspondiente, ó si se quiere con una cuota fija por una sola vez y la correspondiente después á los gastos de conservación en proporción con la superficie que riegue. Es decir, señor Ministro,

se formaría una verdadera sociedad entre los interesados y el Fisco, en la cual el Fisco habría contribuido por una sola vez con la tercera parte del costo de la obra en beneficio de la localidad, quedando exonerado de los gastos de conservación, los cuales los atenderán exclusivamente los vecinos directamente beneficiados, por cuotas proporcionales á la superficie regada, bajo la vigilancia fiscal.»

Como se ve por lo que exponía al Ministerio de Industria y Obras Públicas en mi última Memoria como Director de Obras Públicas, creo que es preciso en estos casos deslindar perfectamente cuál es el rol del Fisco y cuál el de los interesados en el aprovechamiento de las aguas, para entrar después en otras consideraciones sobre las construcciones de los tranques ó muros de presas que han de ejecutarse para la formación de pantanos destinados á la acumulación de las aguas para los regadíos y á este respecto hay muy poca discrepancia entre las personas que se han ocupado de estos asuntos; y en los párrafos siguientes consignaré la opinión que, á mi juicio, es la más equitativa, racional y que la encuentro en conformidad con nuestras leyes vigentes.

Según nuestras leyes vigentes, las aguas de nuestros ríos, etc., son del dominio público. Es decir, el Estado es el depositario de una riqueza nacional, que entrega gratuitamente al particular que la explote, y de ahí la necesidad de solicitar de la autoridad competente la merced ó derechos de aguas cuando se quiere desviarlas de su curso natural para ser explotadas en la agricultura, etc. Por lo tanto, el Estado necesita tomar sus precauciones para que estas aguas no se malgasten y deberá por lo tanto exigir ciertas garantías para el otorgamiento de estas concesiones. A no ser así, la distribución de las aguas entre los

diversos predios rústicos sería enteramente irregular y eventual. Este punto es esencial para las empresas de pantanos: difícilmente podría contarse con la cooperación del vecindario para las construcciones de muros de presas si la distribución de las aguas que se acumulan en los pantanos que de estas presas resultan no se hiciera de una manera equitativa y en relación con la superficie que cada cual puede regar y de la cantidad de agua estrictamente necesaria para el riego. De otro modo los más pudientes serían los únicos beneficiados, porque no sólo tomarían los derechos de agua necesarios para sus predios, sino con exceso, para vender los sobrantes haciendo entonces una verdadera especulación con las aguas confiadas al dominio público para que sean repartidas equitativamente entre los necesitados. La Administración debe, pues, en estos casos, más que en otros, tomar sus medidas para que las cuartas partes de las aguas de un pantano sean repartidas entre el vecindario que pueda beneficiarse con ellas de una manera estrictamente proporcional á las necesidades de cada vecino.

La Administración, por otra parte, como lo dice muy bien el señor Llauradó, podrá hacer más expedita la marcha de las empresas de riegos que se proyecten practicando estudios hidrológicos en las cuencas de nuestros ríos, y dando publicidad á los datos que se obtengan, pues por este medio sabrán á que atenerse respecto á volúmenes de aguas disponibles, las empresas que de buena fe se dediquen á su aprovechamiento, evitándose al propio tiempo que el particular se arruine por ir en busca de las soñadas utilidades que le ofrezca una empresa de mala fe, atenta tan sólo á la explotación del accionista.

Se hace pues, indispensable, fijar el máximun de los *derechos de agua que puede adquirir un propietario en proporción con el número de hectáreas que puede regar*, para que la repartición de las aguas de un pantano, pueda beneficiar directamente al mayor número de propietarios, y evitar por completo, que al nacer

la sociedad que ha de construir un muro de presa, sean los más pudientes, los que, llevados por un espíritu de lucro, contando con la venta de sus derechos, toman cuotas por partes mayores que las que les sean estrictamente necesarias para sus servicios, para vender los sobrantes, obligando así, á los que tienen menos capitales disponibles en el primer momento, á comprar después sus aguas á precios exorbitantes. Ahora bien, la manera más práctica de fijar estos derechos, es buscando la cantidad de agua necesaria para el riego de una hectárea, y por consiguiente, no acordando á ningún propietario más derecho de agua que los necesarios para el número de hectáreas que, según los niveles y condiciones locales, *puede poner directamente bajo riego con las aguas del pantano que se proyecta*. Si se admitiese otra base, resultaría, necesariamente que, un vecino pudiente, alegraría que con instalaciones de molinos de viento, pulzómetros ú otro sistema cualquiera, se proponía levantar las aguas á una altura tal que podía regar un número de hectáreas que realmente absolverían todas las aguas de un pantano ó su mayor parte. Y en este caso, si el hecho es exacto, debe ese propietario construir sólo su obra y no buscar ni el concurso del Estado ni del vecindario.

Si no se fijase por las autoridades administrativas, el máximo de los derechos de agua de que puede hacer uso un vecino de un pantano, tendríamos también graves perjuicios para los agricultores que tendrían que comprar derechos de agua á un tercero; por la *carestía* del agua. Es sabido que las faenas agrícolas y sobre todo las necesarias para las preparaciones convenientes para los regadíos se desarrollan lentamente, y sólo el bajo precio de las aguas puede, en muchos casos, ofrecer al cultivador un estímulo suficiente para decidirlo á convertir el sécano en regadío. Necesita el cultivador disponer de un capital ó poderlo adquirir en condiciones ventajosas para preparar sus tierras y proporcionarse los medios indispensables para aprovechar las

ventajas del regadío: si á esto se agregasen *costo subido del agua* porque especulaciones de sus vecinos que han pedido más agua que las que necesitan le han hecho perder sus derechos directos á la distribución del pantano para obligarlo á comprarla á precio alto, ese cultivador se resistirá seguramente á cambiar su cultivo y mucho más á ser contribuyente para las obras aunque sean de beneficio común.

Resumiendo entonces las consideraciones anteriores podemos decir que el rol del Estado es el siguiente:

1.º Como depositario de una riqueza pública nacional, como son las aguas de los ríos, etc., debe tomar las medidas del caso para que su repartición, sea que ellas se empantanen por medio de presas, ó sea beneficiadas por medio de canales, etc., sea equitativa, es decir, en proporción con las necesidades legítimas de los poseedores del suelo;

2.º Fijar el máximum de la concesión ó merced de aguas para llenar el requisito anterior;

3.º Prestar su ayuda á las empresas de regadíos cuando ellas benefician á las comunidades y notoriamente contribuyen al aumento de la riqueza pública, ó á la alimentación de las ciudades para dotarlas de agua potable ó saneamiento, como medida de higiene pública y de adelanto del país;

4.º Estudiar las cuencas de los ríos, su régimen y demás condiciones, dando á la publicidad todos estos datos, que difícilmente pueden ser obtenidos por los particulares, para que la iniciativa privada pueda aprovecharlos y no sea inducida á errores y fracasos por concepciones de proyectos más ó menos ilusorios, por falta de elementos ciertos y perfectamente comprobados.

Entre nosotros, desde tiempo atrás, se ha comprendido también que este es el verdadero rol del Estado, y para no citar más que un ejemplo, no tenemos más que recordar que el *Canal de Maipo*, por los datos que nos da nuestro eminente historia-

don don Diego Barros Arana, en su obra monumental, se llevó á cabo mediante la decida protección de todos nuestros mandatarios desde fines de la época del coloniaje. Que nuestras principales ciudades, no han contado con una dotación y servicio de agua potable, sino mediante el auxilio más ó menos eficaz que les ha prestado el Estado.

Tócanos ahora entrar á precisar cual sería el *máximum de la concesión ó de la merced de aguas que debe poder adquirir un vecino en relación con sus necesidades, para que la repartición de las aguas sea equitativa*. Tema árduo y que en el trabajo actual no lo podremos considerar sino muy sumariamente, tomando algunos datos de la obra del señor Llauradó, é indicaciones generales dadas por algunos de mis colegas, para llegar á conclusiones generalmente admitidas en la práctica.

La cantidad de agua necesaria para el riego es enteramente variable con las circunstancias siguientes: distribución de las lluvias anuales; necesidades especiales de cada cultivo; el poder absorbente y la permeabilidad del suelo y del sub-suelo; el método del riego que se adopte y hasta la inteligencia y destreza del cultivador en el empleo económico de las aguas.

Así es evidente que se necesitará más agua en un clima seco y cálido, que en otro húmedo y templado; bajo un cielo despejado, con radiación solar intensa, que con una atmósfera nebulosa ó un sol poleado por frecuentes nieblas; y que, en igualdad de circunstancias, las vejetales de raíces profundas, tales como la alfalfa, y la mayor parte de las plantas arbóreas, exigen mayor cantidad de agua que las de raíces superficiales como las gramíneas ó las cereales por efecto de la mayor evaporación que experimentan las capas superficiales del terreno. Por esto, la cantidad de agua necesaria para el riego de la unidad de super-

ficie, la hectárea, por ejemplo, puede presentarse bajo tres formas distintas.

1.º Bajo la forma de un gasto continuo, expresado por un cierto número de litros en la unidad de tiempo;

2.º Por una capa de agua de cierta altura extendida sobre dicha superficie;

3.º Por un número determinado de metros cúbicos por hectáreas.

La primera forma es la generalmente adoptada, y casi la única que se presta para fijar las relaciones de la Administración y los concesionarios que piden merced de aguas para sus riegos, por cuanto se puede precisar con cierta equidad desde luego, el número de hectáreas regables con un caudal conocido.

Por el segundo procedimiento, se puede comparar á primera vista, los resultados de un riego con los de una lluvia correspondiente á una altura determinada y marcada con el pluviómetro: permitirá por consiguiente á los agricultores, suplir con riegos artificiales las deficiencias de las humedades ocasionadas por las lluvias con solo observar las indicaciones del pluviómetro.

La tercera forma de representación de volumen, permite calcular sin ulteriores procedimientos, el número de hectáreas regables con las aguas de un depósito de capacidad conocida: por consiguiente es la más interesante para nosotros cuando se trata de la formación de pantanos por medio de muros de presas.

Ahora, cuando se trate de comparar los resultados de una lluvia, con los efectos de un riego artificial cuya altura sea la misma que la indicación de pluviómetro, conviene tener presente que el agua de lluvia se distribuye con más regularidad sobre el suelo que un riego artificial; y que, por consiguiente, los efectos de aquélla sobre la vegetación, serán en igualdad de circunstancias más fecundas. Una lluvia de un centímetro, por ejemplo, es bastante considerable y sus efectos se dejan sentir notablemente en la vegetación, y sin embargo, no representa más que un volumen de 100 metros cúbicos por hectárea.

Entrando ahora á fijar cifras para el volumen de agua por hectárea, necesario para los riegos, podemos apuntar los datos siguientes: Mr. Nadaut de Buffon, hace notar que, con riegos semanales de 3 centímetros de altura, *que equivalen á un gasto continuo de medio litro por segundo y por hectárea*, habla suficiente, si fuera dable aprovechar completamente las aguas y distribuir las con perfecta igualdad como una lluvia; pero, no siendo esto posible, las más de las veces, puesto que ocurren pérdidas por distintas causas, *se adopta como término medio 0.75 litros por segundo y por hectárea, lo que equivale á suponer que, con un litro continuo de agua, se puede regar al turno de siete días, hectárea y media de terreno*, y con un metro cúbico por segundo 1,500 hectáreas.

El mismo autor, examinando la cantidad de agua empleada en los riegos en Francia, ve que varía entre 146 á 1,800 metros cúbicos por riego y por hectárea, volúmenes que corresponden, el primero, á una temporada de 180 días y á un gasto continuo de 0.169 litros por segundos; y el segundo, es decir el de 1,800 metros cúbicos por hectárea, á una temporada de 150 días y á dos litros por segundo y por hectárea contado como gasto continuo.

El conde de Gasparin, admite que en el clima de la Provenza, y en los casos ordinarios, se necesita para cada riego, una capa de 8 á 10 centímetros de altura, ó sea 800 á 1,000 metros cúbicos de agua por hectárea; de manera que fijando el intervalo entre los riegos consecutivos de diez á doce días, corresponden próximamente á un gasto de agua continuo de un litro por segundo, ó sea de 15,552 metros cúbicos por los seis meses de la temporada normal de los riegos.

Sin embargo, hay autores que llegan á cifras bastante más elevadas, así el señor Kervé Mangon, según afaros practicados en el departamento de Vanclure, deduce un gasto de agua que varía de 1 á 4 litros por hectárea y por segundo. Pero, como lo

manifiesta muy bien el señor Llauradó, estas discordancias son más aparentes que reales, puesto que dependen de los terrenos, sistemas poco racionales que se emplean á veces en los regadíos, de los cultivos varios que se encuentran en una misma zona, y los cuales, como se ha dicho tienen exigencias muy variadas por causas muy distintas.

Ahora, teniendo presente que toda administración, para fijar el máximo de los derechos de una concesión, sólo puede tener presente un término medio general y no el consumo de agua de cultivos especiales, se puede partir, para ellos de la base siguiente: un litro de agua por segundo produce un volumen de 86.40 metros cúbicos en 24 horas; suponiendo que se rieguen todos los campos de una misma zona, una vez á la semana, aunque las tandas más comunes son de diez á quince días, podrán emplearse en cada riego $86.40 \times 7 = 605$ metros cúbicos, cuyo volumen, extendido sobre la superficie de una hectárea produciría una capa de agua de 6 centímetros de altura, superior por consiguiente á las necesidades generales del riego. Tomando como base entonces, las tandas de siete en siete días, tenemos 52 tandas en el año, ó sea 26 en seis meses de la temporada de riegos y á razón de 605 metros cúbicos por tanda, tendremos un gasto de agua de 15,730 metros cúbicos por año y por hectárea.

Fundándose en los raciocinios anteriores, la administración francesa, suele adoptar en las concesiones de aguas para los riegos, el tipo *un litro de agua por segundo y por hectárea*; en España se asigna generalmente *medio litro por segundo y por hectárea* para las concesiones de canales de regadío. El primer tipo, es generalmente excesivo y el segundo puede ser deficiente como lo han demostrado los cálculos anteriores, por consiguiente, el término medio de *0.75 litros por segundo y por hectárea*, puede considerarse como el más adecuado á las condiciones normales de la agricultura.

Según la opinión de mi amigo don José Pedro Alessandri, que ha tenido ocasión de estudiar este problema, en más de una ocasión, por lo que ha visto en nuestros suelos, $\frac{3}{4}$ de litro por segundo y por hectárea, es generalmente en Chile una buena dotación de agua, con tal que los riegos se hagan metódicamente y con procedimientos razonados. Puede ser, como es natural, que en los terrenos enteramente de sécano, los primeros riegos absorben más agua mientras se provoca la primera vejetación y después, ya con las humedades naturales, los $\frac{3}{4}$ de litro por segundo sean más que suficientes.

En confirmación de las ideas anteriores y tomando un ejemplo de lo que pasa entre nosotros, podemos también hacer el cálculo siguiente: Se sabe que un regador del «Canal de Maipo» cuyo rendimiento se estima en 15 litros por segundo y, á veces menos, cuando hay sequías, llegando muy excepcionalmente al *máximum* de 20 litros por segundo, basta para el cultivo de 15.722 hectáreas (10 cuadras) ó sea, que cada hectárea, exige un gasto de agua permanente de (0.95) noventa y cinco centésimos de litro por segundo, y muy excepcionalmente, recibirán los terrenos regados con aguas del «Canal de Maipo,» 1 litro 26 centésimos por hectárea, cuando en años abundantes el canal pueda dar una dotación de 20 litros por segundo y por regador. Lo que está perfectamente de acuerdo con las observaciones hechas anteriormente que llegan á la conclusión, de que el tipo de concesión de *un litro por segundo y por hectárea es un máximum* para casos determinados y que el término medio de *setenta y cinco centésimos de litro por segundo es lo más racional*.

Ahora, respecto á la cantidad total de agua que debe almacenarse en un pantano para atender las necesidades de los regadíos, podemos hacer el raciocinio siguiente, deducido también de los regadíos hechos con las aguas del Canal de Maipo: Según la práctica establecida, los riegos comienzan á principios de primavera y duran hasta entradas de invierno, ó sea durante una

temporada de seis meses, más ó menos, ó 180 días: ahora, como 15 litros por segundo dan por día 1,296 metros cúbicos de agua, en la temporada de 180 días representan un gasto de 233,280 metros cúbicos, con los cuales se riegan, con los métodos imperfectos que usan constantemente nuestros hacendados, 15,722 hectáreas, ó sea un gasto de agua total por hectárea de 14,837 metros cúbicos; resultado, como lo vemos, muy aproximado del que se ha sacado contando tandas de regadío de siete en siete días durante seis meses que, como ya lo hemos visto, nos conduce á un gasto de agua total por hectárea durante la temporada de 15,730 metros cúbicos.

De lo expuesto anteriormente se deduce que $\frac{3}{4}$ litros de agua por segundo y por hectárea es un buen promedio para fijar la dotación de agua necesaria para nuestros regadíos, tratándose, como lo hemos visto al principio del presente párrafo, de fijar el *máximum de la concesión ó de la merced de aguas que debe adquirir un vecino*, sentaremos como principio que, de ordinario, las concesiones no serán superiores á 0.75 por segundo y por hectárea, siendo el *máximum* adoptable solamente á casos muy especiales, como lo hace la administración francesa, el de *un litro por segundo y por hectárea*. Y bajo esta base seguiremos nuestros cálculos en el presente trabajo.

Tomando por base una merced de agua de 0.75 por segundo seguido y por hectárea, veamos el número de hectáreas que se pueden regar en un año con un pantano ó represa de un volumen conocido. El gasto de agua de 0.75 por segundo equivale á 64.8 metros cúbicos en 24 horas. Ahora bien, como para los cálculos es costumbre suponer riegos sucesivos de 7 en 7 días, aunque en la práctica ellos sean de 10 en 10 hasta de 15 en 15 días, y tendremos que para cada riego por hectárea se dispone

de un volumen de agua de $64.8 \times 7 = 453.6\text{m}^3$, ó lo que es lo mismo, que cada riego equivale á repartir sobre el terreno una capa de agua de $4\frac{1}{2}$ centímetros de espesor.

Para poder fijar ahora el gasto de agua anual por hectárea, sin exageraciones, tendremos que suponer al país dividido en tres zonas: en la primera, en el Norte, donde las lluvias son muy escasas, los riegos serán constantes todo el año, es decir, tendremos 52 tandas de 7 días, y como cada tanda representa un gasto de agua de 453.6m^3 por hectárea, en el año tendremos un gasto de $453.6 \times 52 = 23,586.2\text{m}^3$ de agua por hectárea, ó en 23,600 tomando números redondos. Si llamamos q el número de metros cúbicos de agua que se pueden almacenar en el pantano que se proyecta y h el número de hectáreas regables con el volumen de agua de que se dispone, tendremos entre estas dos cantidades la relación siguiente:

$$\frac{q}{23,600} = h$$

Es decir que, en una zona que exige el riego permanente todo el año, como la zona Norte de Chile, valle de Copiapó, etc., con un pantano de 100,000 metros cúbicos se regarán, con tandas de 7 en 7 días, 4 hectáreas 23 centésimas de hectáreas, ó sea $4\frac{1}{4}$ hectáreas.

En las zonas donde por efecto de las lluvias y de las humedades naturales, los riegos se pueden suspender durante tres meses en el año, como en el valle de Aconcagua, etc., sólo se necesitarán para el riego 39 tandas de 7 en 7 días, ó sea un gasto de agua anual de $453.6 \times 39 = 17,690.6$ metros cúbicos de agua por hectárea. Por consiguiente, el número de hectáreas regables con un volumen q de agua almacenada en un pantano será dado por la relación:

$$\frac{q}{17,700} = h$$

Es decir que en este caso un pantano de 100,000 metros cúbicos de agua aseguraría el riego de 5.65 hectáreas.

Y por último, si tomamos el caso más común, que es que los riegos se suspendan durante 6 meses del año, como pasa entre nosotros en toda nuestra zona del valle de Santiago al sur, para asegurar los riegos sólo habrá que contar con 26 tandas de 7 en 7 días, ó sea un gasto de agua anual de $453.6 \times 26 = 11793.6$ metros cúbicos de agua, ó con un volumen dado de metros cúbicos, se regarían $\frac{q}{11800} = h$ hectáreas. En este caso el mismo pantano de 100,000 metros cúbicos de agua aseguraría el riego de 8.47 hectáreas de terreno.

Sin entrar en ningún detalle, y sólo para dar una idea sumaria de los muros de presas y valorización de estas obras por metro corrido, de una manera sencilla y aproximada, y calcular en consecuencia el casete del agua, y por consiguiente si conviene ó no su construcción en un caso dado, vamos á apuntar algunas observaciones generales á este respecto.

La construcción de cada dique, como es natural, exigirá un estudio de detalle de las localidades, sus nivelaciones, etc., etc.; estudio y condiciones que son peculiares de cada caso particular; por lo tanto, en un estudio como el presente no podemos hacer más que observaciones generales para llegar también á conclusiones de la misma naturaleza que deben ser corregidas en cada caso particular con el conocimiento y datos peculiares de las localidades. No entraremos tampoco á considerar más que un sólo caso, el de los muros de presa hechos con tierra, que son los más comunes y los más adecuados á las exigencias agrícolas.

La altura del dique es generalmente de 0^m50 sobre el nivel máximo de las aguas embalsadas, cuando los pantanos son de

pequeña capacidad, y de un metro ó más en los grandes pantanos donde el viento provoca el oleaje. Al construir estos muros es muy conveniente darles un exceso de altura sobre la calculada como definitiva para contrarrestar las pérdidas por acentamiento, que puede estimarse prudentemente en un $1/20$ de la altura.

El ancho del muro en su coronación suele hacerse de 1^m50 , y como esta dimensión es independiente de las demás, las cuales son dadas por las inclinaciones de los taludes, generalmente no se cambia, sino cuando se quiere hacer servir al muro de vía de comunicación entre las dos márgenes del valle donde se construye la presa. Para los taludes, se recomienda que al exterior sea el que corresponda naturalmente á las tierras empleadas en la construcción, en la práctica *uno y medio de base por uno de altura*. El talud interior que se haya en contacto con las aguas debe ser mas tendido, y en la práctica para conformarse con los cálculos de resistencia conviene adoptar la relación de tres de base por uno de altura. Cuando después de formado el dique, experimenta acentamientos que dan lugar á filtraciones, sobre todo durante el primer año de servicio se procurará tapar estas vías de agua, lo que se consigue generalmente con facilidad, y si los escapes son de consideración durante los primeros meses de uso del dique, bastará la más de las veces, vaciarlo y dejarlo algún tiempo sin llenar, procurando que la tierra al secarse se comprima nuevamente y se haga impermeable.

Debo á la amabilidad del señor Juan Francisco Vives, caballero experimentado en esta clase de construcciones entre nosotros los datos siguientes: Los muros bajos pueden construirse, con buen éxito, con toda clase de tierras, siendo preferible, por cierto, la arsillosa; pero no siendo indispensable en manera alguna formarse el núcleo de casilla para conseguir la impermeabilidad cuando los muros de presa tienen poca altura. Los muros

bajos se mantienen bien dándoles taludes iguales á ambos lados, correspondientes á la inclinación natural de las tierras, ó sean comprendidos entre los 45° , ó $1/1$, hasta el 2 por 1, siendo el término medio de $1\frac{1}{2}$ por 1 lo más general. La construcción de estos muros bajos por medio de la pala de buey, es muy poco costosa y se consigue con este sistema que las capas subsesivas se vayan pisoneando con el mismo trabajo, á medida que se van formando.

La pala de buey, es una herramienta sencilla que el señor Vives ha hecho fabricar con muy poco costo con cualquier plancha de acero y que presta, en estos casos, mejores servicios que cualquiera otra para el acarreo y cavadura de las tierras. Bajo el punto de vista de la conservación de los muros de presa el señor Vives da gran importancia á la orientación de dichas obras, y la razón es fácil de comprender: el oleaje que se forma en la superficie de los pantanos es lo que más deteriora los muros de tierra, y puede obligar á ponerles revestimientos ó defenderlos con plantaciones. Un dique bien orientado, de modo que no reciba el oleaje del pantano no necesita grandes cuidados ni revestimientos especiales. Por la práctica que tiene en esta clase de trabajos, no aconseja tampoco la formación de pantanos en los cauces mismos de los esteros, ríos, etc., por cuanto, en general, además de tener el defecto de exigir muros muy altos, para procurarse la formación de un pantano de regular capacidad, por cuanto obliga á colocar el muro en donde hay justamente más desnivel en el suelo, como sucede en los talwey, y el pantano se embanca fácilmente con los arrastres que acarrear los esteros, etc., durante sus creces. Por consiguiente, la formación de pantanos en ensenadas adecuadas por su configuración y poco desnivel es la más ventajosa, porque aunque exija muros de presa más largos, serán generalmente mas bajos y no hay temor á los embancamientos. Y por último, respecto al costo de estas obras, hechas en condiciones económicas como las que

hemos indicado, el señor Vives las ha ejecutado ahora años á 12 y 15 centavos metro cúbico de tierra, y tomando en cuenta el aumento del valor de los jornales cree que á la fecha podrán efectuarse á 20 centavos el metro cúbico, porque no hay que contar con transportes de tierras á grandes distancias usando para la formación del muro las tierras que quedan á su frente, por decirlo así, al lado adentro del pantano que se va á formar.

Yo debo agregar á las observaciones anteriores dadas por el señor Vives que los diversos autores que tratan de esta clase de obras recomiendan ante todo un estudio un poco prolijo de la localidad para precaverse contra la probabilidad de un resbalamiento del muro, debido al reblandecimiento de las capas de tierras superficiales por la humedad constante provocada por el pantano. Este reconocimiento se hace tanto más indispensable cuando el muro se encuentra en una quebrada y á cierta altura de modo que su resbalamiento pueda ser la causal de estragos de consideración, como ya ha pasado entre nosotros con el tranque de Mena en Valparaíso. Y en caso de temores á este respecto, el remedio sería colocar delante del muro de presa al pié de su chafán interior, una serie de pilotes en los cuales se fijan dos piezas de madera en condiciones que dejen pasar entre ellos una fila de tablas estacas. Si el terreno fuera sumamente permeable, ó sus capas muy inclinadas, el muro podría construirse en un cofré de pilotes y tablas estacas.

Si queremos ahora cubicar de una manera aproximada un muro dado para calcular su costo aproximativo podemos proceder, tomando por base el perfil dado en el croquis N.º 1, recomendado por el señor Llauradó, que lo creo superior al compuesto de taludes iguales á ambos lados, de la manera siguiente:

Como en la práctica la altura del muro es variable, siendo generalmente mayor en el centro que en los extremos, tomare-

mos una altura *media* H para calcular el volumen por metro corrido de muro, y tendremos:

$$H = \frac{h + h' + h'' + h''' + h'''' + h^v + h^vi \dots}{n}$$

siendo $h, h', h'',$ etc., las diversas alturas del muro tomadas en puntos equidistantes unos de otros, y n el número de ellas que entran en el cálculo. Así por ejemplo, si tenemos:

$$h = 2.5, h' = 4, h'' = 5, h''' = 6.5, h'''' = 7.3, h^v = 3.5, h^vi = 2$$

$$\text{resulta } H = \frac{2.5 + 4 + 5 + 6.5 + 7.3 + 3.5 + 2}{7} = \frac{30.8}{7} = 4.40 \text{ (1)}$$

El volumen V del muro, llamado L su largo, será, correspondiendo el primer término al núcleo central, hecho de arcilla.

$$V = HbL + \left(\frac{1}{2}H \times 3H \times 1 + \frac{1}{2}H \times 1.5H \times 1\right) L = HbL + H(1.5H + 0.75H)L$$

Así por ejemplo, si suponemos un muro de una altura media de 4.4, con 1.5 en su coronamiento, y siendo ese el núcleo de arcilla, tendremos:

$$H = 4.4 \text{ y } b = 1.5$$

y por consiguiente:

$$V = 4.4 \times 1.5 \times L + 4.4(1.50 \times 4.4 + 0.75 \times 4.4) L$$

de donde

$$V = 6.6 \times L + 43.56 L.$$

(1) Entro en esta clase de consideraciones, por cuanto estas observaciones están destinadas á los hacendados.

Es decir que el volumen medio por metro corrido de núcleo de arcilla es de 6^m6 y de terraplenes para los chaflanes etc., del muro de 43^m46 metros cúbicos por metro corrido, ahora si el tranque tiene 80 metros de largo, por ejemplo, tendremos como volúmenes calculados los siguientes:

$$V = 6.6 \times 80 + 43.56 \times 80 = 528 + 3484.8.$$

Como el cubo calculado de esta manera, será generalmente como un 10% más bajo que el verdadero, por cuanto no se pueden seguir de muy cerca todas las inflexiones del terreno, recargaremos las cifras anteriores, con el 10% y tendremos:

$$V = 580.8 + 3833.28$$

Pero, en esta clase de trabajos, el núcleo de arcilla debe ser pisoneado de manera que el número de metros cúbicos de tierra suelta que hay que movilizar en carretillas, palas de buey, etc., es casi el doble del apuntado como volumen teórico: y el de las tierras del terraplén, por efecto de su tasamiento natural y el cuidado que se pone en esta clase de trabajos haciendo pisar los terraplenes para provocar su consistencia, hay que recargar el volumen teórico por movilizar con un 15%; y tendremos así, en definitiva, como volumen total del muro de tranque en el ejemplo que hemos considerado, el siguiente:

$$V = (580.8 + 50\% \text{ de } 580.8) + (3833.28 + 15\% \text{ de } 3833.28)$$

$$V = 871.2 + 4408.27$$

ó sea como fórmula general para tomar en cuenta estas observaciones:

$$V = 1.65 \times HbL + 2.85H^2L$$

La base B del muro, será naturalmente variable con la altura, y en cada punto será dada por la expresión $B = b + 3h + 1.5h$, así en el caso anterior, en las partes donde el muro tendría mayor altura, es decir para $h''' = 7.30$, tendremos:

$$B = 1.50 + 3 \times 7.3 + 1.5 \times 7.3 = 1.5 \times 21.9 + 10.95 = 34^m35$$

Esta distancia conviene calcularla siempre para poder fijar los puntos donde puedan hacerse las excavaciones para sacar las tierras frente á la parte interior del muro que formará el tranque del pantano.

Si en el caso del ejemplo anterior, tomamos como máximo del precio de acarreo de tierras, el de 20 centavos por metro cúbico, según los datos del señor Vives, trabajando con pala de buey, y transportando solamente las tierras del frente; y recargando este gasto hasta 40 centavos por metro cúbico, para tomar en cuenta el desgaste de herramientas, gastos generales de administración, emparejadura del suelo, etc., y el de \$ 1.50 por lo menos para el de la arcilla pisoneada del núcleo: tenemos que el muro que nos ha servido de ejemplo costaría

$C = 871.2 \times 1.5 + 4408.27 \times 0.40 = 3070.108$ ó sea \$ 3,100 números redondos. Como ya lo he dicho, se me excusará que entre en estos detalles, por cuanto el propósito de este trabajo, es vulgarizar estas ideas, y llevarlas al conocimiento de personas que generalmente no han hecho nunca cálculos semejantes, por fáciles que ellos sean.

A los datos prácticos apuntados anteriormente, puedo agregar los siguientes que debo á la amabilidad del señor Pedro Aldunate relativos al tranque de San Alfonso en Catapilco.

El muro de presa tiene una altura de 21 metros sobre el cañón que da salida á las aguas estancadas, y el nivel de las aguas es de 20 metros sobre el cañón; y el largo del muro es de dos cuerdas ó 250 metros más ó menos. La formación de este tranque

se ha hecho con tierras cascajosas, desagregada con tiros á pólvora en ocasiones, y su costo, comprendiendo los aparatos de cañerías, válvulas, etc., etc., ha sido de 75,000 pesos correspondiendo á razón de 45 centavos metro cúbico, no comprendiendo en esta suma el valor de la asistencia profesional de inspección, etc., por cuanto el señor Aldunate lo hizo personalmente.

El señor Aldunate cree que, para tranques de tierra ó greda que no tengan más de 8 metros de altura, podrían hacerse á 25 centavos metro cúbico, sin contar en este precio los aparatos de desagües, válvulas, etc., sino simplemente el costo de los terraplenes.

La capacidad del pantano de San Alfonso es de 1.500,000 metros cúbicos de agua y riega con ellos 500 cuadras, ó sean 786,3 hectáreas. Después de escrito lo anterior he sabido que el señor Aldunate mejorando las condiciones del muro, levantando un tanto su altura, ha conseguido arrepresar en el tranque de San Alfonso 2.000,000 de metros cúbicos de agua. Es *decir un metro cúbico de agua riega cinco metros superficiales con cinco riegos*: lo anterior demuestra que, para el cultivo de esos campos, las exigencias de los riegos artificiales reducidas al mínimum, son de 5 tandas gastando cada una 40 litros por metro cuadrado, ó sea que, cada riego equivale á una lluvia ó capa de agua uniforme de *cuatro centímetros de espesor*.

Las aguas del pantano son las acumuladas de cuatro vertientes que convergen hacia un mismo punto: la válvula que da escurrimiento á las aguas mide 356 milímetros de diámetro, y con el pantano lleno de agua vota 80 regadores del Canal de Maipo. La represa tiene por base la acumulación de las aguas de un estero que tiene agua permanentemente, lo que naturalmente aumenta la capacidad del regadío; teniendo en esto gran ventaja sobre los pantanos formados simplemente por la acumulación de las aguas de lluvia, las cuales no reponen sus pérdidas sino pasada la temporada de verano, generalmente seca entre nosotros

y solamente con los primeros aguaceros á entradas de invierno. En el pantano de San Alfonso de Catapilco, por sus condiciones de ubicación, que le permiten reunir como lo hemos dicho cuatro vertientes convergentes, repone sus aguas con mucha facilidad y se llena nuevamente con cualquiera lluvia en la localidad. Para aumentar la zona de regadío, á más de la válvula colocada al fondo del muro de presa, ó sea en el talweck de la cuenca del pantano; hay otra colocada á 15 metros de altura, que distribuyendo convenientemente las aguas que se acumulan en el pantano, sobre este nivel, permite ensanchar la zona de regadío á todos los puntos que están á menos de 15 metros de altura sobre la válvula del fondo.

Los trabajos fueron hechos por capas subsesivas delgadas y regadas constantemente, haciendo el transporte de tierras con líneas Decauville. Las faenas se organizaron con cuadrillas convenientemente distribuidas, que hacían el trabajo simultáneas: unas de ellas arando las tierras, cuando eran blandas para permitir fácilmente su carguío en los carros que debían transportarlas, ó bien quebrándola á pólvora cuando eran duras y cascajosas; las otras cargando y, por último, las encargadas de los transportes y detalles de formación de las capas del muro de presa. La tierra vegetal se transportó á carretilla en tanto cuanto sus distancias lo permitian: no se usó en este trabajo la pala de buey, la cual no puede ser recomendada sino para transportes cortos y muros de poca altura. El señor Aldunate dió todos sus trabajos á tareas para poder tener seguridad de sus gastos, por cuanto, faenas de esta naturaleza dejan siempre que desear si los obreros trabajan al día, porque en este caso, por mucha vigilancia que se tenga sobre ellos, están muy lejos de dar un rendimiento conveniente y correspondiente al número de horas de trabajo. En tranques de esta naturaleza es indispensable que el *núcleo del muro de presa sea de greda* para evitar las filtraciones. El muro de que nos ocupamos, tiene 3^m de espesor en su parte

superior, y el núcleo de greda colocado al centro mide 1^m50 de espesor.

Respecto ahora á la proporción que puede existir entre los precios de avalúos de los terrenos de sécanos, con la de regadío que se consiguen con los pantanos, en la zona de Catapilco la estimo en 1/5. Es decir que el terreno de sécano valdría una quinta parte del precio del de regadío; por cuanto, la parte regada de un fundo no sólo da mayor valor al sécano directamente regado, sino también al resto del sécano ó sea al total del fundo, por cuanto, como es natural, normaliza más su producción y le permite mejor aprovechamiento de sus tierras en todo sentido. Un fundo enteramente de sécano, no puede asegurar absolutamente su producción, mientras que, si tiene una parte regada, siempre habrá un tanto por ciento de ella asegurada, más sus cultivos propios, cualquiera que ellos sean.

De los datos anteriores se desprende claramente que en campos como los de Catapilco, donde se cuenta con humedades de las lluvias en cierta época del año, basta asegurar durante la temporada de cultivo, cinco tandas de riego por hectárea para llenar las necesidades comunes de la agricultura, ó lo que es lo mismo, como ya lo hemos dicho, en Catapilco, cada riego es de 4 centímetros de agua por metro cuadrado, ó sean 400 metros cúbicos por hectárea y por riego lo que da un total de 2,000 metros cúbicos por la temporada de cinco riegos. Más ó menos al mismo resultado llegaremos si consideramos los datos generales dados por el señor Aldunate: la represa tiene una capacidad de 1.500,000 de metros cúbicos, y riega 786 hectáreas, lo que daría un gasto de agua por hectárea y por la temporada de 1,908 metros cúbicos; pero como la represa recibe las aguas de un estero, permanentemente, surtiéndose así un tanto y reponiendo en parte sus pérdidas, puede asegurar el gasto de agua de 2,000 metros por hectárea, que nos da el cálculo de los regadíos. Si tomamos por base estas cifras, tenemos, reproduciendo

do las consideraciones anteriores, que para un pantano de un volumen de agua q , en las condiciones de cultivo de Catapilco, puede asegurar el riego á $\frac{q}{2000}$ = hectáreas, y si tomamos el mismo ejemplo ya considerado, resulta que un pantano de una capacidad de 100,000 metros cúbicos, regaría durante la temporada, con cinco riegos de 0^m04 de espesor por cada uno, 50 hectáreas de terreno.

Se ve pues, cuánto influye la calidad de los suelos, sus cultivos etc., para juzgar de la capacidad de regadío de un pantano dado; pero queda también puesto en evidencia que, para nosotros, las cifras dadas anteriormente, en conformidad con los cálculos de tandas subsesivas de 7 en 7 días, son exageradas y que bastará para la generalidad de los casos, y tomando en cuenta aun todo cultivo con la mitad del gasto de agua apuntado para tandas de 7 en 7 días, ó lo que es lo mismo, que puede tomarse como dato muy seguro, que en la zona del norte, se tendrá asegurada la temporada de riego, contando con 11,800 metros cúbicos por hectárea, ó sea que 100,000 metros cúbicos rieguen 8.49 hectáreas. En la zona media se necesitaría 8,850 metros cúbicos de agua por hectárea, ó sea que un tranque de 100,000 metros aseguraría el riego durante la temporada de cultivo de 11,525 hectáreas y en la zona sur, tendríamos un gasto de 5,900 metros cúbicos por hectárea, ó 100,000 metros cúbicos de agua asegurarían el riego de 17 hectáreas, cifras que nos servirán más tarde para calcular cuando conviene ó nó construir una represa, recomendando siempre, que, en cada caso particular se haga un cálculo aproximado del gasto de agua por hectárea, en vista de lo que se ve en los terrenos de regadíos vecinos.

Debo también á la amabilidad del señor ingeniero don Federico Garcés Puelma y sus compañeros los datos siguientes sobre el costo de esta clase de trabajos.

El tranque que han construído en el fundo de los Quillalles del señor Línor Alvarez tiene un muro de presa de 52 metros

de largo y con una altura media de 9 metros; en la corona superior tiene un ancho de 6 metros y el chaflán del lado del agua es de dos por uno y el del lado opuesto de uno y medio por uno. Al principio quisieron poner uno por uno como chaflán al lado del agua, pero no pudieron realizarlo, de modo que tuvieron que tomar el de dos por uno. El muro tiene un núcleo de greda *de espesor variable*, de tal manera que la base b del núcleo (figura adjunta) sea igual á la mitad de la altura h del muro, ó sea $b = \frac{1}{2}h$: Como esta disposición daría al núcleo chaflanes inclinados, se ha cortado en escalones de 3 en 3 metros para tener recogidos de un metro por lo menos: en la corona el espesor b del núcleo es de un metro. En el perfil adjunto está dibujado con el muro de 6 metros y por consiguiente con un sólo recogido en el núcleo: donde el muro tiene 9 metros, el núcleo tiene dos recogidos y la base inferior es de $4\frac{1}{2}$ metros: y así sucesivamente.

La greda en este caso ha sido transportada á 150 metros de distancia en carretilla y sacada de un pozo; greda pura que se ha puesto por capas de 0^m40 de espesor y que se han pisoneado hasta reducirla á 0^m15 de espesor. La capa de greda puesta y aprensada cuesta con todos sus gastos 2 pesos 40 centavos por lo menos el metro cúbico y 55 centavos el precio mínimo de metro cúbico de revestimiento. Su costo total es de 10,700 pesos ó sea de 205 pesos 75 centavos metro corrido de muro.

En el pantano de don Carlos Brull, cuyo muro de presa tiene 105 metros, con un perfil de chaflanes y con núcleos de greda *de espesor variable* en las mismas condiciones anteriores, solamente cambiando el chaflán del lado del agua, que es de dos metros diez y siete (2.17) de base por uno de altura, con una altura máxima de 22 metros y 17 metros de *altura media*, con corona superior del muro de seis metros, transportando la greda, en este caso á 480 metros de distancia, con Decauville, y colocándola por capas de 0^m40 de espesor que se pisoneaban

hasta reducirlas á 0^m15 : tuvo también un costo mínimo, es decir en las partes más favorables para las capas de greda, de 2 pesos 30 centavos el metro cúbico y de 90 centavos el metro cúbico de relleno ó terraplén. El costo total de la obra es de 24,000 pesos ó sea de 228 pesos 58 centavos metro corrido.

Tomando por base los datos anteriores, he tratado de buscar una fórmula, por decirlo así, que ligue el precio de costo del muro de presa de un pantano con los beneficios que él reporta asegurando los regadíos, desgraciadamente no he encontrado entre los diversos autores que he podido consultar nada que llene este fin. En la obra del señor Llauradó se estudia y se hacen observaciones muy oportunas respecto al precio del agua de regadío ó bien sobre el precio del agua aplicada como fuerza motriz; pero estas observaciones no pueden servirnos de base para resolver el problema que nos hemos propuesto aunque sea sumariamente, cual es de ligar por medio de una relación conocida el volumen de agua que se puede almacenar en un pantano dado, el costo de su construcción y el número de hectáreas que puede regar.

Reunidas esas cantidades por medio de una fórmula, tendremos que, en un caso dado, podemos preguntarnos, conocido el costo y cantidad de agua que puede almacenarse en un pantano dado: ¿cuál será el número de hectáreas que deberán regarse para que sea remurador? ó bien, conociendo el número de hectáreas que se pueden poner bajo agua construyendo un muro de presa: ¿cuál será su importe máximo para que, dados los beneficios que se obtienen con el riego, compensen los gastos que exige la formación del pantano? ú otros problemas de esta naturaleza.

Sin pretender presentar una solución fuera de toda tacha,

pero con el ánimo de provocar esta clase de estudios entre nosotros y como un medio práctico que podrá servir tal vez en más de un caso, voy á apuntar aquí el procedimiento que me ha parecido más adecuado para solucionar el problema propuesto; ojalá estas observaciones puedan servir de base para estudios más completos á este respecto, por cuanto, como lo he dicho, entro á un campo de cálculos y consideraciones en el cual no he encontrado auxilio ni otros semejantes en los autores que sobre este tema tengo conocimiento.

Desde luego, lo primero que se impone es conocer el beneficio que se obtiene con los regadíos; y á este respecto ya hemos visto que en Catapilco el señor Pedro Aldunate S. estima que la proporción que puede fijarse entre el precio de la hectárea de riego y sécano es de $1/5$.

Mi amigo don José Pedro Alessandri, á quien he consultado como conocedor en esta materia, me ha suministrado los datos siguientes: En el valle de Aconcagua puede contarse esta diferencia de valor entre la hectárea regada á la de sécano como variable entre $1/3$ á $1/4$; la misma proporción puede fijarse para el valle de Colina; $1/3$ para el valle de Santiago, bien entendido que todos estos datos son generales y que en cada caso particular estas relaciones pueden variar considerablemente según los terrenos y diversas circunstancias locales, etc.; así, por ejemplo, en el valle de Maipo la diferencia entre terrenos de regadío y sécano puede ser $1/2$ en más de un caso aún en terrenos que no tengan expectativas de ser puestos bajo agua por canales, por cuanto pueden prestarse para otras especulaciones que las que consideramos como corrientes á la agricultura.

Por consiguiente, uno de los primeros puntos que deben examinar los interesados al estudiar la construcción de un pantano, es averiguar, dada la clase de suelos y circunstancias locales, etc., cuál será la diferencia de valor entre la hectárea regada y la hectárea de sécano, puesto que de ello penden las ganancias.

les directas de la obra que se quiere construir: nosotros para hacer extensivas nuestras consideraciones á cualquier caso, seguiremos simplemente tomando los datos generales, y llamemos:

m = número de metros del muro de presa.

a = valor del muro por metro corrido.

(1) c = gasto anual de conservación del muro de presa.

h = número de hectáreas que se riegan.

v = valor de la hectárea de riego.

v' = valor de la hectárea de sécano variable generalmente entre $\frac{1}{5}$ á $\frac{1}{3} v$.

g = gasto del riego en metros cúbicos por hectárea durante la temporada, variable como lo hemos visto entre $14,837^{m^3}$ con regadores del canal de Maipo, durante una temporada de seis meses; $15,730^{m^3}$ para un gasto de agua de un litro por segundo y por hectárea con 26 tandas de riego de diez en diez días durante seis meses, en $23,600^{m^3}$ para un gasto de agua de 0.75 por segundo con tandas de siete en siete días *todo el año*. Con el mismo gasto de agua 0.75 y tandas de siete en siete días *nueve meses del año* de $17,700$ metros cúbicos y con el mismo gasto de agua con tandas de siete en siete días durante seis meses del año $11,800$ metros cúbicos ó bien de $1,908$ con cinco riegos al año y metro cúbico de agua para cinco metros superficiales por riego como es el caso de Catapilco ó la mitad de las cifras anteriores si las tandas de riego se toman de quince en quince días como es práctica bastante corriente entre nosotros y que es lo más lógico para los pantanos que sólo deben asegurar el regadío entre sus límites más severos.

q = volumen total de agua que se almacena en el pantano en metros cúbicos.

Y tendremos que:

(1) $\dots = \frac{q}{g}$ es la relación entre el volumen de agua del pantano q , y el número de h de hectáreas que puede regar.

ma = costo del muro de presa, y si suponemos que los capitales que se han invertido para su construcción deben ganar un 8% de interés y 2% de amortización anual; tendremos que los gastos anuales serán dados por la relación siguiente:

$c + ma \times \frac{80}{100} =$ gastos anuales; siendo c el gasto de conservación.

Por otra parte, siendo v el precio de la hectárea de riego y v' el de la hectárea de sécano, la ganancial que se obtendrá por hectárea será de $(v - v')$, y la ganancial que se obtendrá con la construcción del pantano que riega h hectáreas será $(v - v') h$, poniendo en lugar de h el valor sacado de la relación (1), tendremos, como expresión de lo ganancial, en función del número de metros cúbicos de agua del pantano la siguiente: $\frac{q}{g} (v - v')$ (2). Ahora bien, como las faenas agrícolas dan siempre un interés bajo, supongamos que esta suma dé sólo el 5% de rendimiento, tendríamos entonces que las gananciales anuales, ó sean los intereses al 5% del aumento de valor del suelo serían representados por la expresión

$$\frac{5}{100} \times \frac{q}{g} (v - v') \dots (3)$$

por lo tanto, para que una construcción de esta naturaleza, trabajada con capitales tomados á préstamos al 10% no sea honrosa para el que la construye se necesita que los intereses del aumento de valor de la propiedad, calculados simplemente al 5% sean mayores que los gastos anuales que exige la conservación y pagos de interés, etc., de los capitales de la presa, ó sea que se cumpla la relación

$$c + ma \times \frac{10}{100} = < \frac{5}{100} \times \frac{q}{g} (v - v') \dots (4)$$

Se ve, pues, que la fórmula anterior liga á todas las cantidades que entran como determinantes de la cuestión, y por ella

podemos calcular, como hemos dicho de una manera aproximada el volumen q que se necesita almacenar para que sea remuneradora una empresa de pantano que cueste una suma dada. Conoceremos el primer término de la ecuación y todos los coeficientes de q en el segundo, ó bien cuál será el costo máximo ma , que se pueda admitir, para que sea remunerador un pantano que riega q/g de hectáreas ó bien que tiene un volumen conocido q no contando en los trabajos agrícolas más que con una producción de 5% del valor de la propiedad, ó cualquier otro problema que se relacione con estas tres cantidades.

Para concluir, y teniendo presente, como hemos dicho desde el principio que este trabajo esté destinado á los hacendados que generalmente tienen poca práctica en estos cálculos voy á poner un ejemplo, tomando los datos que hemos dado anteriormente, y supongamos:

$m = 180$ metros del muro de presa.

$a = 280$ pesos costo del metro corrido, tomando en números redondos el valor del muro del señor Carlos Brull, citado anteriormente.

$c = 2,000$ pesos para pago de un cuidador, limpias, etc., y la conservación durante el año.

$V = \$ 550$, valor de la hectárea de regadío.

$V' = \frac{1}{4} V = \$ 137.50$, valor de la hectárea de sécano.

$h = 14,850 \text{ m}^3$ por hectárea y por temporada, es decir, tomando en números redondos el gasto de agua de los riegos del Canal de Maipo.

Y se nos pregunta en estas condiciones: ¿qué volumen de agua se necesitará almacenar, ó bien qué número de hectáreas se necesitará regar para que se compensen los gastos con las entradas? y tendremos:

$$\frac{q}{g} = h \quad \text{ó sea} \quad \frac{q}{14850} = h$$

para la relación entre el número de hectáreas de riego y la capacidad del pantano.

Como costo del muro tendremos: $m a = 180 \times 230 = \$ 41400$, suponiendo los capitales tomados al 10%, es decir, 8% de interés y 2% de amortización, el gasto anual que exige la conservación de la obra y servicio de la deuda contraída será de

$$C + \frac{10}{100} \times m a = 2000 + \frac{10}{100} \times 41400 = 2000 + 4140 = \$ 6140$$

Para calcular las entradas, tenemos: $V = 550$ y $V' = 137.50$, es decir que la ganancial ó aumento de valor del fundo por hectárea es de $V - V' = 550 - 137.50 = \$ 312.50$: y siendo h el número de hectáreas que se riegan, la ganancial total ó aumento de valor del fundo será de $(V - V') h = 312.5 h$. Suponiendo que los cultivos agrícolas no produzcan más del 5% del valor de los terrenos, tendremos que el aumento de entradas ó de renta anual será dado por la expresión

$$\frac{5}{100} (V - V') h = \frac{5}{100} \times 312.5 h = 156.25 h.$$

Ahora bien, para no tener pérdidas con el trabajo de presa, necesitamos por lo menos que el aumento de entradas sea igual con el de los gastos, por consiguiente:

$$C + m a \times \frac{10}{100} = \frac{5}{100} (V - V') h \dots 6140 = 156.25 h$$

de donde $h = \frac{6140}{156.25} = 39.807$ ó sean 40 hectáreas en números

redondos. Por consiguiente, para que los gastos hechos para la construcción del muro de presa se encuentren compensados, se necesita que el pantano que con él se forma riegue *por lo menos cuarenta hectáreas de terrenos*. Ahora, ¿cuál será el volumen de agua *mínimo* que debe almacenar el pantano para llenar la condición anterior? lo sacaríamos inmediatamente por la relación

$$\frac{q}{14850} = h$$

haciendo á $h = 40$, y tendremos $q = 40 \times 14850 = 594000$ metros cúbicos de agua.

Como se ve, con las fórmulas anteriores se pueden resolver sumariamente dos problemas de regadío con pantanos, y esto ha sido el objeto que nos hemos propuestos llenar con el presente trabajo, tratando de generalizar y facilitar esta clase de operaciones aun á personas que se encuentran poco habituadas con el cálculo.

Otro ejemplo concluirá por dar una idea más cabal de la importancia de estas obras, y de las ganancias que con ellas se sacan, es la aplicación de lo anterior al caso de la represa de San Alfonso de Catapilco del señor Pedro Aldunate S. Como lo hemos visto, el muro de presa y demás trabajos costaron al señor Aldunate \$ 75,000, y sus gastos de conservación al año no pueden representar como *un máximum* sino el 3% de esta suma, es decir, \$ 2,750 al año (1). Suponiendo que el capital necesario para la construcción haya sido tomado á préstamo con 10% de interés, tendremos que los gastos del pago de la deuda y conservación demandarían un desembolso de \$ $7,500 + 3,750 = 11,250$.

El señor Aldunate riega con esa represa 500 cuadras ó sean 786.3 hectáreas, y como dicho señor aprecia en esa localidad en $1/5$ la diferencia entre el valor de los terrenos de riego y de sécano, tendremos, si le suponemos un valor de \$ 600 á la hectárea de terreno de riego, que el aumento de valor que ha ex-

(1) Para evitar todo mal entendido, tenemos que hacer presente que la represa de Catapilco no le exige al señor Aldunate el menor gasto de conservación. Si yo hago figurar en el cálculo un gasto de conservación equivalente como máximum al 5% del costo, es simplemente para manifestar que, si esa obra no hubiese sido ejecutada directamente por el señor Aldunate, sino por una sociedad como la del «Canal de Maipo», que necesita mantener sus empleados y sus celadores para la distribución del agua, etc., entre los socios, esos gastos, que los estimo en 5%, se considerarán en las fórmulas como gastos de conservación; y como lo demuestra el cálculo, aun con ellos, la construcción de represa es ventajosa.

perimentado la hectárea de terreno al pasar del sécano al riego es de $(600 - 1/5 \times 600) = \$ 480$; y como se han regado 786 hectáreas, el aumento de valor del fundo es de $\$ 786 \times 480 = 377,280$.

- Como no se puede suponer, sin exageración, que un fundo produzca más de un 5% de su valor, tendremos que el aumento de producción, debido al aumento de valor, es de $\$ 18,864$ ($\frac{5}{100}$ de 377,280). Se ve, pues, que la construcción de represa no sólo le compensa los gastos de $\$ 11,250$, calculados como se ha visto *con exageración*, y suponiendo el capital de construcción como un préstamo al 10%, sino que aún deja un excedente de $18,864 - 11,250 = \$ 7,614$, ó sea el 2% del aumento de valor del fundo, resultado que no puede menos que ser sumamente halagador compensando todos los sacrificios hechos para la construcción de un pantano. Debo advertir también que he puesto en este cálculo expresamente el precio de la hectárea de riego en $\$ 600$ para que en ningún caso se tachase de exagerado.

En todos los cálculos anteriores hemos supuesto el 10% á los capitales tomados á préstamos ó de construcción, lo que indudablemente es una exageración en muchos casos, y el 5% como rendimiento á los capitales ó valor de la propiedad agrícola, lo que también es demasiado bajo para fundos bien explotados; pero hemos pecado ex-profeso en esta exageración de gastos y disminución de producción para que no se hagan cálculos con cifras ilusorias y estar á salvo de todo evento; por lo demás, cada cual, al hacer sus estudios de detalle, puede tomar en cuenta exactamente estas circunstancias poniendo los intereses reales de sus préstamos ó de rendimiento de sus propiedades.

D. V. SANTA MARÍA.

Santiago, Mayo 13 de 1894.

